

Le système interactif de traitement d'images de télédétection au C.I.R.A.D./Montpellier

G. Laine

Mission Télédétection I.R.C.T.
I.R.C.T.-C.I.R.A.D., B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex.

MOTS CLÉS : télédétection, traitement numérique d'images

Ce système est un ensemble modulaire conçu pour assurer une grande souplesse d'utilisation aux chercheurs des différents départements du C.I.R.A.D.

L'accès aux périphériques (imprimantes, tablette graphique...) est immédiat (frappe d'une touche au clavier) et les fonctions existantes ont été établies pour qu'un utilisateur

sans connaissances particulières en informatique ait à sa disposition une gamme étendue de procédures de base.

Il peut ainsi choisir celles qui lui paraissent le mieux adaptées à la résolution de son problème, et procéder à leur enchaînement comme il le désire en fonction des résultats intermédiaires qu'il obtient.

MATÉRIEL

Le Péricolor 1 000 Numelec

Il s'agit d'un système de visualisation et de traitement d'images autonome où les opérations sont effectuées par l'utilisateur au moyen d'un clavier alphanumérique et d'une boule roulante, ceci en mode interactif avec l'écran d'un moniteur T.V.

La configuration utilisée au C.I.R.A.D. comporte 4 cartes de mémoire-image de capacité 256×256 (16 + 1) bits (*), ce qui, par exemple, se traduit pour chacune par :

- 2 images 256×256 définies sur 8 bits (codées de 0 à 255) ;
- 1 plan graphique (plan marqueur) défini sur 1 bit (0 ou 1).

Il est également possible de travailler avec 1 image 256×256 définie sur 16 bits (codée de 0 à 65 535) et 1 plan graphique.

Le Péricolor 1 000 permet de visualiser à résolution réduite une image $512 \times 512 \times 8$ bits. De plus, en se déplaçant sur cette image 512×512 échantillonnée, on peut délimiter une zone d'intérêt quelconque de 256×256 puis procéder à sa visualisation en pleine résolution.

La boule roulante (ou *track-ball*) autorise :

- le déplacement libre du curseur (5 formes différentes) pour le repérage des coordonnées, la lecture d'un contenu ;
- l'écriture et l'effacement dans les plans graphiques (trace d'une courbe par points ou par segments etc.) ;
- la variation de certains paramètres (cadrage, couleur, courbes) ;
- le déplacement d'une fenêtre de travail sur l'image.

La capacité de mémoire (RAM + PROM) a été étendue à 176 ko, ce qui permet :

- d'une part, de supporter le logiciel de base, un certain nombre de programmes optionnels (Assembleur, Basic, gestion des périphériques etc.) et les programmes spécifiques mis au point par l'utilisateur ;

- d'autre part, d'avoir accès à un processeur arithmétique rapide AM 9511 capable d'effectuer des opérations en virgule fixe (16 ou 32 bits) ou flottante (32 bits).

Lecteur enregistreur de disquettes

Pour l'instant, les images proviennent uniquement d'un lecteur enregistreur de disquettes 8 pouces (format 3740 IBM). Il peut fonctionner en simple face-simple densité (en particulier pour les disquettes générées par l'assembleur-editeur) ou en double densité, simple ou double face.

En double face-double densité, la capacité de mémoire des disquettes est de 4 « pages » soit 8 images $256 \times 256 \times 8$ bits + 4 plans graphiques + 4 jeux complets de paramètres et de textes + 4 séquences de 1 296 octets + 4 programmes de 16 ko.

En Basic, il est néanmoins possible de charger jusqu'à 12 images $256 \times 256 \times 8$ bits (sans plans marqueurs).

Imprimante noir et blanc Epson FX 80 (interface parallèle)

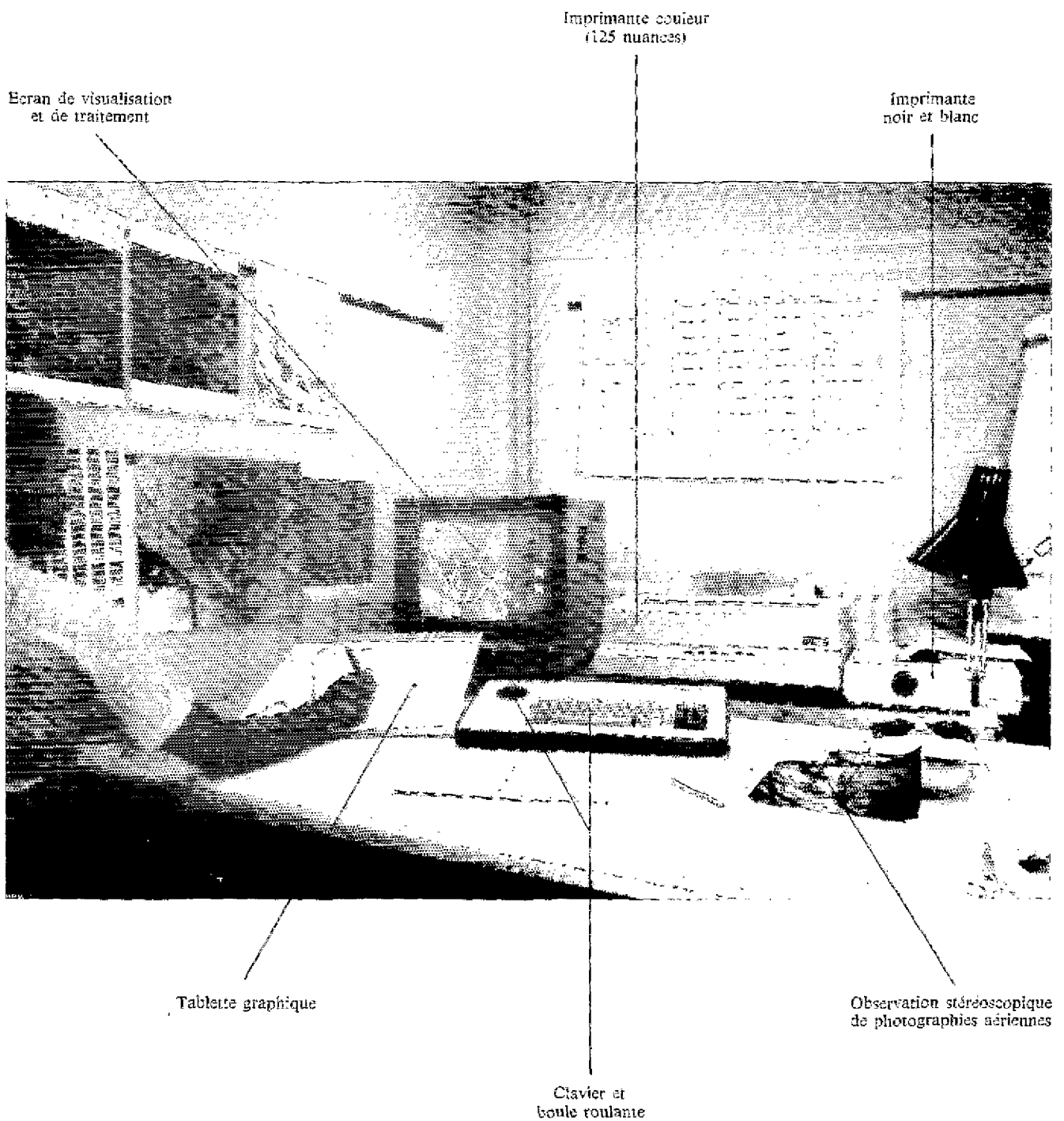
Elle permet l'édition de programmes (Basic ou Assembleur), la recopie d'écran (graphique + texte + images en 8 niveaux de gris) y compris sous Basic avec édition de paramètres.

Imprimante couleur à jets d'encre ACT-2 (interface parallèle)

Elle permet des recopies d'écran avec 125 teintes différentes (5 niveaux de jaune \times 5 niveaux de Magenta \times 5 niveaux de cyan) dont 5 niveaux de gris.

Cette restitution peut être effectuée soit à partir d'une image 8 bits quelconque, soit à partir d'une composition

(*) Dans le système binaire, chaque chiffre binaire ou bit représente une puissance de 2, de la même façon que dans le système décimal chaque chiffre représente une puissance de 10. Ainsi le nombre 3 s'écrit 11 ce qui nécessite 2 bits. De même, il faudra 8 bits pour écrire de 0 à 255 et 16 bits de 0 à 65 535.



Le péricolor 1 000 et ses principaux périphériques.

colorée de 3 images réalisée avec les valeurs par défaut du mode vrai-couleur (voir fonctions de visualisation).

Tablette graphique bit pad one (liaison série)

Sa surface utile est un carré de 38 × 38 cm. Elle recopie à l'écran le tracé décrit au moyen d'un stylet sur n'importe quel document.

Le facteur d'échelle est paramétrable indépendamment en x et en y ; il est possible de faire correspondre point à

point une image et un document cartographique même si les échelles horizontales et verticales ne sont pas identiques.

L'écriture ou l'effacement par le stylet peut se faire dans un plan graphique ou dans un plan image, ceci par points ou par pavés de 5 × 5 pixels.

Il n'y a pas de limitation de la vitesse d'écriture (interpolation).

Ce travail s'effectue en mode interactif, ce qui est très intéressant pour le repérage des pixels, les corrections géométriques et l'introduction de données exogènes.

LOGICIELS

Visualisation sur écran

Fonctions de visualisation du contenu des mémoires-images

1 — Visualisation des valeurs numériques à l'intérieur d'une fenêtre que l'on peut déplacer interactivement sur l'image elle-même mais aussi d'une image à une autre (lecture dans les différents canaux).

2 — Traduction en couleur des valeurs lues. Il existe différentes possibilités :

Cas d'une image à un seul canal (image 8 ou 16 bits)

Visualisation en mode « pseudo-couleur »

- échelle de 256 couleurs arbitraires avec possibilité de création interactive d'une table de couleurs quelconques parmi 16 millions de combinaisons possibles, ceci par le choix du poids de chaque composante Rouge, Vert, Bleu avec 256 possibilités pour chacune ;

- aucune perte d'information pour une image 8 bits puisqu'à chaque valeur de pixel correspond une couleur donnée ;

- 256 niveaux de gris possibles (diagonale du cube des couleurs) ;

- modulation de l'intensité dans le cas d'une représentation en 16 couleurs ;

- interpolation éventuelle ;

- seuillage (ou « coloration par tranches ») ; on affecte une même teinte aux valeurs d'un intervalle.

Cas d'une image à 2 canaux (image 16 bits)

Combinaison colorée en mode « pseudo-couleur »

- échelle de 256 couleurs pour lesquelles chaque composante R.V.B. correspond à la somme des composantes R.V.B. de chaque canal ;

- de plus, pour chaque canal, modification à volonté de l'intensité de chaque composante R.V.B. soit au moyen de 7 fonctions pré-programmées, soit sous forme d'une courbe se traçant interactivement point par point ou segment par segment ;

- combinaison linéaire visuelle interactive de 2 canaux (en particulier addition, soustraction et masquage d'un canal par un autre canal).

Composition colorée en mode « vrai-couleur »

Il s'agit d'un cas particulier de la visualisation qui est décrit ci-dessous dans le cas d'une image 3 canaux.

Visualisation en luminance-couleur (ou « intensité-couleur »)

Les valeurs de l'un des canaux définissent les couleurs tandis que les valeurs de l'autre canal modulent ces couleurs en intensité (ou inversement) ; on travaille dans ce cas à saturation maximale (le plus éloigné de la diagonale des gris) pour disposer de teintes très contrastées.

Cas d'une image à 3 canaux (image 16 bits)

Chaque canal étant en général codé sur 8 bits, il faut accepter une perte de précision de quelques bits sur chacun ou sur deux des trois canaux.

Composition colorée en mode « vrai-couleur »

- 1 composante (Rouge, Vert ou Bleu) par canal ;
- ce mode permet d'affecter à chaque bit de chaque composante n'importe lequel des 16 bits qui sont disponibles pour coder les 3 canaux ;

- 65 536 teintes théoriquement distinctes à l'écran ;

- inhibition possible de chacune des composantes.

Ce mode « vrai-couleur » ne correspond pas forcément à une visualisation en couleurs naturelles. Il est par exemple utilisé pour représenter les canaux Vert, Rouge et proche Infra-Rouge, ce qui permet d'obtenir une image comparable aux photos infra-rouge fausses couleurs.

3 — Animation des images

Le nombre d'images visualisables en animation varie de 2 à 16. L'intervalle de temps entre chaque image varie entre 1/50^e de seconde et 5 secondes.

L'intérêt est de montrer l'évolution d'un phénomène (croissance de la végétation, extension de l'habitat, changements de température, déplacement des nuages) ou de vérifier l'effet d'un traitement (filtrages successifs, isocontours correspondant à des niveaux différents etc.).

Fonctions de visualisation du contenu des plans graphiques

Chacun des 4 plans graphiques peut être visualisé en superposition avec les images, selon différents modes (noir et blanc, inversé, fixe ou clignotant). Ceci permet de faire apparaître les tracés (zones-test, limites administratives, isohyètes etc.) effectués par l'utilisateur à l'aide du curseur ou du stylet de la tablette graphique.

Le plan marqueur permet également de visualiser un certain nombre de courbes (fonctions pré-programmées, fonctions définies point par point ou segment par segment, histogrammes, isocontours etc.) ainsi que la répartition des pixels de caractéristiques identiques lors des étapes intermédiaires des classifications interactives.

Enfin, ce plan est utilisé pour la représentation en perspective (3 angles différents) des images 128 × 128.

Fonctions de visualisation du texte

Un module générateur de caractères permet de présenter 1 800 caractères sur l'écran (texte ou séquence) en superposition avec l'image et le graphique. Chaque caractère est défini par une matrice 7 × 7 et il existe 128 caractères différents (64 caractères alphanumériques du Code ASCII + 32 caractères semi-graphiques + 32 caractères d'un alphabet spécial comportant entre autres des caractères cyrilliques). Les caractères peuvent être de 7 couleurs différentes, transparents, directs ou inversés, fixes ou clignotants.

Fonctions de visualisation du contenu des mémoires vives et des mémoires mortes

Le moniteur permet de visualiser sur l'écran le contenu de l'une quelconque des 256 pages de mémoire. Il permet également d'écrire dans les mémoires vives.

Fonctions de manipulation des images

- Lecture et écriture d'une image sur disque souple (avec son jeu de paramètres, plus éventuellement le plan graphique et le texte correspondant).
- Définition de la taille des images sur lesquelles s'effectueront les traitements (taille variable entre 3×3 et 256×256).
- Positionnement quelconque de ces images sur l'écran.
- Matérialisation par le plan marqueur des limites de cette image.
- Choix de la forme du pixel (carré ou rectangulaire).
- Grossissement (effet Zoom) de l'image et du plan graphique avec un taux variable de 1 à 16. Ce Zoom ne modifie pas les valeurs en mémoire. La fraction agrandie peut être déplacée (effet panoramique) et visualisée plein écran (image 256×340) sans texte.
- Transfert et échange entre 2 cartes des images 8 et 16 bits et du plan graphique.
- Permutation de 2 images 8 bits entre 2 plans de la même carte.

Toutes ces fonctions de visualisation permettent d'afficher à tout moment le résultat des calculs ou des traitements réalisés. Elles concernent donc la représentation visuelle des données et n'affectent pas le contenu des mémoires.

Traitement numérique

Le traitement numérique d'images proprement dit est le résultat de l'application d'une ou plusieurs fonctions (géométriques, algébriques, logiques ou statistiques) aux contenus d'une ou de plusieurs images digitalisées.

En premier lieu, il est nécessaire de pouvoir superposer les images entre elles (études multitemporelles) ou à un document cartographique de référence. Ceci fait l'objet de corrections géométriques préalables. Les traitements s'effectueront ensuite soit dans l'espace des canaux, soit dans l'espace géographique à deux dimensions (le plan).

Le plus souvent, on combinera ces deux types de traitement afin de tenir compte de toute l'information disponible. On obtiendra en définitive un nouveau canal superposable aux précédents.

Fonctions de correction géométrique

- Translations, rotations, homothéties, similitudes (ou combinaisons de celles-ci) après avoir identifié un modèle linéaire de déformation (modèle polynomial inverse d'ordre 1).

Pour la fonction de rééchantillonnage, il existe une possibilité de choix entre l'interpolation au plus proche voisin et l'interpolation bilinéaire.

- Rectification interactive par méthode de points d'appui (11 points possibles).

Traitements dans l'espace des canaux

Ces traitements sont appelés aussi traitements point par point car les opérations s'effectuent sur un pixel donné sans tenir compte de ceux qui l'entourent. À chaque pixel on affecte une nouvelle valeur (entre 0 et 255) qui est fonction de sa valeur dans le ou les canaux de départ (géométriquement superposables).

Ces ensembles de valeurs seront auparavant caractérisés

par un certain nombre de paramètres statistiques usuels afin d'en dégager des tendances et de guider les différentes phases du traitement.

Calcul de paramètres statistiques

- Histogramme (courbe et tableau numérique) des fréquences d'une image ou d'une partie d'image définie par un contour ou par un masque.
- Variation des contenus le long d'une section, d'un profil ou d'une droite quelconque.
- Minimum, maximum, moyenne, variance, écart-type d'une image ou d'une partie d'image définie par un contour ou un masque.
- Histogramme bidimensionnel de deux images ou de deux zones définies par un contour.
- Coefficient de corrélation de deux images. Choix d'un nouveau coefficient de corrélation et donc de deux nouveaux axes de représentation (décorrélation de 2 canaux).
- Covariance de deux images ou parties d'images définies par un contour ou un masque.
- Matrice des variances/covariances (ou des corrélations) entre plusieurs images (6 maximum).
- Valeurs et vecteurs propres associés.
- Calcul des composantes principales.

Opérations internes à une image

- Rangement d'une valeur quelconque en un point de coordonnées données, à l'intérieur d'une zone, ou sous un tracé effectué à l'aide du plan graphique.
- Iso-contourage.
- Zoom.
- Addition, soustraction, multiplication et division par une constante.
- Opérations logiques :
 - effacement,
 - complémentarité (inversion des bits),
 - rotation de bits (ex. : permutation bits inférieurs et bits supérieurs),
 - fonctions ET, OU logique, OU exclusif etc. permettant de définir des masques (affichage des bits de poids faibles etc.).
- Amélioration sélective du contraste :
 - application de fonctions pré-définies permettant en particulier l'étalement linéaire de la dynamique et la répétition cyclique de l'échelle des couleurs,
 - application d'une fonction quelconque générée interactivement par point ou par segment,
 - application de fonctions algébriques non linéaires (étalement logarithmique, exponentiel, sinusoïdal etc., étalement gaussien, étalement par équipopulation).
- Classification par seuillage (équidensités colorées).

Opérations entre deux images

- Opérations arithmétiques (addition, soustraction, multiplication, rapport).
- Ratios spécialisés (index de brillance, index de végétation).
- Combinaisons linéaires ($aA + bB + c$).
- Opérations logiques :
 - fonctions ET, OU logique, OU exclusif etc. permettant de définir des masques d'une image par une autre image,
 - transfert d'un champ de bits d'une image dans une autre permettant la réalisation des compositions colorées de son choix,
 - classification interactive après apprentissage sur histogramme bidimensionnel.

Opérations entre plusieurs images

- Analyse en composantes principales ($N \leq 6$).
- Classification par la méthode des niveaux ($N \leq 4$) appelée aussi classification « parallélépipédique » ou « hypercube ».

Traitements dans l'espace géographique

A la différence des traitements qui utilisent l'information strictement radiométrique, les traitements dans le plan tiennent compte de l'information attachée à la localisation de ces valeurs.

Ces traitements s'attachent à l'étude mathématique et statistique du voisinage d'un point ainsi qu'à l'organisation spatiale des éléments texturaux en considérant que l'on travaille sur un ensemble de variables régionalisées. Ils sont de deux types :

— Ceux qui donnent au pixel une nouvelle valeur fonction des valeurs radiométriques de son voisinage. Le calcul fournit une grandeur de même nature et de même degré (lissages etc.) ou de degré différent (opérateurs différentiels). Il peut s'effectuer :

• Ou bien à l'aide d'un filtrage spatial sur 8 bits par une matrice 3×3 (technique de convolution) : moyenne locale, médiane, érosion, dilatation, dérivées directionnelles, opérateur de SOBEL, laplacien, filtres passe-haut et passe-bas.

Ces techniques conduisent entre autres à réduire le bruit de l'image, ou au contraire à rehausser les transitions et renforcer les contours avec un effet directionnel plus ou moins accentué. Elles permettent également de mettre en évidence des angles, des points anormaux et d'établir des liaisons entre les objets ou au contraire de les isoler.

• Ou bien par un maillage de l'image en pavés élémentaires de dimension quelconque. C'est « l'optimisation locale de la dynamique » qui, à l'intérieur de chaque pavé et proportionnellement à son écart-type, étale la dynamique autour de la valeur moyenne 128.

Cette procédure qui tient compte du voisinage immédiat de chaque point permet d'avoir accès à tous les détails d'une image à dynamique très variée.

— Ceux qui associent à chaque pixel un paramètre spatial qui tient compte de la disposition des pixels ou des classes (présence, contacts, directions etc.) et fournit une information sur les relations spatiales entre les principaux éléments de l'espace géographique.

Le calcul s'effectue à l'intérieur d'une fenêtre glissante dont la dimension est variable et dépend, en particulier, de l'échelle à laquelle le phénomène est perceptible. Ce domaine fait actuellement l'objet de recherches à l'I.R.C.T. et il a permis de mettre au point, en collaboration avec l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, l'algorithme de calcul d'un paramètre de diversité géographique. Ce paramètre a pour but d'évaluer la diversité induite dans l'espace géographique par les pixels d'une classe donnée. Il tient compte de la superficie occupée par la classe, de sa dispersion et de la longueur totale de ses limites.

PERSPECTIVES

En fonctionnement autonome

— Développement des traitements dans l'espace géographique. Mise au point de nouveaux opérateurs de texture, de forme et de structure.

— Introduction de données exogènes (données cartographiques, résultats d'enquêtes etc.) pour une amélioration de l'interprétation ainsi que pour la mise en évidence de zones susceptibles d'un comportement voisin face à une problématique donnée.

— Développement de modules de traitement propres aux objectifs des différents chercheurs. Chaque utilisateur a en effet la possibilité de mettre au point à tout moment et interactivement une procédure nouvelle, soit en utilisant le logiciel de base (écriture en « séquences »), soit en Basic (version simplifiée BASIC-SPOT comprenant également un gestionnaire de fichiers), soit en assembleur (INTEL 8080).

En liaison avec un calculateur

Le but principal est de traiter des quarts de scènes ou des scènes entières ($3\,000 \times 3\,000$ pixels dans le cas de SPOT) en une seule opération et non par l'intermédiaire d'un grand nombre de disques souples.

Une liaison série asynchrone est prévue avec l'ordinateur IBM du Centre National Universitaire Sud de Calcul (CNUSC) de Montpellier. Cette liaison nécessite l'implantation de logiciels de codage/décodage et de compression/décompression des données actuellement en cours de mise au point. En permettant d'une part de transmettre des images 256×256 pour le traitement local sur le Péricolor et, d'autre part, d'avoir accès à certains logiciels de traitement (HLIPS, PCIPS, SPIDER) et de visualisation (GIMAGE), elle devrait permettre de traiter provisoirement de grands fichiers en attendant que des programmes similaires soient implantés sur l'ordinateur central du C.I.R.A.D.

Parallèlement, seront implantés sur l'ordinateur central du C.I.R.A.D. (DATA GENERAL MV 10000 SX), des programmes permettant la lecture des différents formats de bandes magnétiques et la sélection de fractions d'images, ainsi que des traitements numériques mono- et multi-spectraux sur des scènes entières.

Une liaison série sera établie dans un premier temps avec le Péricolor en attendant la réalisation d'une liaison parallèle, soit avec le Péricolor, soit avec un écran de visualisation haute résolution ($1\,024 \times 1\,024 \times 24$ bits) permettant de visualiser des fractions d'image plus importantes.

REMERCIEMENTS

Nous remercions MM. DUPLAA (C.N.E.S.), GIL (C.N.U.S.C.), GOUPIE (N.U.M.E.L.E.C.), MICHAUX (C.I.R.C.E.), MOISSET (E.N.S.G.), PARROT

(O.R.S.T.O.M.-Bondy) et VALERY (I.N.R.A.-Versailles) pour les diverses améliorations qu'ils nous ont permis d'apporter au logiciel de base.

The interactive image processing system in C.I.R.A.D./Montpellier

G. Laine

KEY WORDS : remote sensing, digital image processing.

It is a modular system designed to provide the scientists of various C.I.R.A.D. departments with great flexibility.

Access to peripherals (printers, graphic tablets...) is immediate (pressing a key at the keyboard) and the existing

functions are established so that non-computer people can have the use of a wide range of basic procedures. The operator can choose those which are the most adapted to solve his problem, and link them as he likes according to the intermediate results he obtains.

EQUIPMENT

Pericolor 1000 Namelec

It is an autonomous image processing and display system where all the operations are done by the user with an alphanumeric keyboard and a track-ball in an interactive mode with a T.V. monitor screen.

The configuration used at C.I.R.A.D. includes four image memory boards of a capacity of 256×256 (16 + 1) bits (*), which, for each of them, is expressed by :

- two 256×256 images defined upon 8 bits (coded from 0 to 255) ;
- one graphic plan (marker plan) defined upon one bit (0 or 1).

It is also possible to work with a 256×256 image defined upon 16 bits (coded from 0 to 65,535) and one graphic plan.

The Pericolor 1000 allows the reduced resolution display of an image $512 \times 512 \times 8$ bits. Besides, moving on this 512×512 image makes it possible to plot any 256×256 area of interest and to obtain the full resolution display of it.

The track-ball allows :

- free movement of cursor (five preset shapes) to detect coordinates, read contents etc.) ;
- writing and erasing in graphic plans (plotting of a curve by points or by segments etc.) ;
- modification of some parameters (framing, colour, curves) ;
- movement of a displayed window on the image.

Memory capacity (RAM + ROM) was expanded to 176 Kbytes, allowing :

- to support the basic software, some optional software (assembler, Basic, peripheral management etc.) and the specific programs developed by the user ;
- to have access to a rapid arithmetic processor AM 9511 capable of carrying out fixed point (16 or 32 bits) or floating point (32 bits) operations.

Floppy disk drive

For the time being, the images only come from a 8 inches floppy disk drive (size 3740 IBM). It can work in simple side-simple density (especially for the floppy disks generated by the assembler-editor) or in double density, simple or double side.

In double side — double density, memory capacity is 4 « pages » i.e. 8 images $256 \times 256 \times 8$ bits + 4 graphic plans + 4 complete sets of images and texts + 4 sequences of 1,296 bytes + 4 programs of 16 Kbytes.

In Basic, it is nevertheless possible to load up to 12 images $256 \times 256 \times 8$ bits (without marker plan).

Epson F X80 black and white printer (parallel interface)

The printer allows to edit programs (Basic or assembler), and to get hard copy of the screen (graphs, texts and images in 8 grey levels), including under Basic with editing of parameters.

Act-2 ink jet colour printer (parallel interface)

It allows hard copies with 125 different shades (5 yellow levels \times 5 Magenta levels \times 5 cyan levels) including 5 grey levels.

These hard copies can be achieved either with any image 8 bits or with a coloured composite of three images obtained with the default values of the « true-colour » mode (see Display functions).

Bit pad one graphic tablet

Its useful area is a 38×38 cm square. It copies out on the screen the graphic information described with a stylus on many document.

(*) In the binary system, every binary figure or « bit » represents a power of 2, as in the decimal system, each figure represents a power of 10. So, the figure 3 is written 11, which requires 2 bits. Similarly, 8 bits will be necessary to write from 0 to 255 and 16 bits from 0 to 65,535.

It allows independent x, y adjustment input scale factor; point-to-point correspondence between an image and a cartographic document can be achieved even if horizontal and vertical scales are not identical.

Writing or erasing with the stylus can be done in a

graphic plan or an image plan, by point or sub-images of 5×5 pixels.

Writing speed is not limited (interpolation).

This is carried out in an interactive mode, which is very interesting for pixel detection, geometric corrections and introduction of exogenous data.

SOFTWARE

Screen display

Display of the content of image-memories.

1 — Display of digital values within one window which can be moved interactively on the image itself and also from one image to another (reading in various channels).

2 — Translation in colour of the values read. There are various possibilities :

Case of a one-channel image (image 8 or 16 bits)

Display in a « pseudo-colour » mode

- scale of 256 arbitrary selected colours with possible interactive generation of any colour table among 16 million possible combinations, by choosing the weight of each component, Red, Green and Blue, with 256 possibilities for each of them ;

- no information is lost for a 8 bits image since each pixel value corresponds to a given colour ;

- 256 possible grey levels (diagonal of colour cube) ;
- intensity modulation for a 16-colour representation ;
- possible interpolation ;
- image thresholding or colour slicing ; a same colour is assigned to the values of an interval.

Case of a two-channel image (image 16 bits)

Coloured combination in a « pseudo-colour » mode

- scale of 256 colours for which each component RGB corresponds to the sum of components RGB of each channel ;

- in addition, for each test, modification on demand in the intensity of each component RGB either by seven preset functions or as a curve interactively plotted point by point or segment by segment ;

- interactive visual linear combination of two channels (especially addition, subtraction and masking of one channel by another).

Coloured composite in a « true-colour » mode

This is a particular case of display described below for a three-channel image.

Display in brightness colour (or « light-intensity colours »).

The values of one of the channels define the colours while the values of the other channel modulate these colours in intensity (or conversely) ; in this case, the operator uses maximal saturation (the farthest from grey diagonal) as to obtain very contrasted shades.

Case of a three-channel image (image 16 bits)

As each channel is generally coded upon 8 bits, a loss of precision of a few bits on the three or on two channels has to be accepted.

Coloured composite in a « true-colour » mode

- 1 component (Red, Green or Blue) per channel ;
- possibility to assign at each bit of each component any one of the 16 bits available to code the three channels ;

- theoretically, 65 536 shades are distinct on the screen ;
- possible inhibition of each component.

This « true-colour » mode does not necessarily correspond to natural colour display. For instance, it is used to represent the Green, Red and close infra-red channels, allowing an image comparable to infra-red false colour photographs to be obtained.

3 — Image animation

The number of displayable images in animation ranges from 2 to 16. Time intervals between images range from 1.50 second to 5 seconds.

The advantage is to show the evolution of a phenomenon (vegetation growth, settlement expansion, temperature changes, cloud movements) or to check the effect of a treatment (successive filterings, iso-contents corresponding to various levels etc.).

Display of the content of marker plans

Each of the 4 marker plans can be displayed superimposed with images according to various modes (black and white, inverse, fixed or blinking). This displays the plots (training fields, administrative limits, isohyets etc.) drawn by the user with the cursor or the stylus of the graphic tablet.

The marker plan also allows to display a certain number of curves (preset functions, functions defined point by point or segment by segment, histograms, iso-contents etc.) and to distribute pixels with identical characteristics during the intermediate stages of interactive classifications.

Ultimately, this plan is used to represent in perspective (3 different angles) 128×128 images.

Text display

A character generator can present 1,800 characters on the screen (text or sequence) superimposed with the image and the graph. Each character is defined by a 7×7 matrix and there are 128 different characters (64 alphanumeric characters of ASCII Code + 32 semi-graphic characters + 32 characters from a special alphabet including among others Cyrillic characters). The characters can be of 8 different colours, transparent, direct or inverted, fixed or blinking.

Display of the content of read-only memories and read-write memories

The Pericolor allows to display on the screen the content of any of the 256 pages of memory and also to write in the R. W memories.

Image handling

- Reading and writing of an image on a floppy disk (with its set of parameters and if need be the marker plan and the corresponding text).

- Definition of the size of the images on which the processing will be performed (variable size, from 3×3 to 256×256).

- Any positioning of these images on the screen.

- Materialization by the marker plan of the limits of these images.

- Selection of pixel shape (square or rectangular).

— Zooming of image and marker plan with a rate ranging from 1 to 16. This does not alter the values stored. The fraction zoomed can be moved (panoraming effect) and full screen displayed (256 × 256 image) without any text.

— Transfer and exchange of between two boards images 8 or 16 bits or of the marker plan.

— Exchange of two images 8 bits between two plans of the same board.

All these functions allow the results of the calculations or processings done to be displayed at any time. Therefore, they concern the visual representation of data and do not affect the content of memories.

Digital processing

Image digital processing itself results from the application of one or several functions (geometric, algebraic, logical or statistical) to the contents of one or several digitized images.

First, it is necessary that images can be superimposed between themselves (multitemporal studies) or with a reference cartographic document. This is the subject of previous geometric corrections. Afterwards, the processings are performed either in the multispectral space or in the geographic two-dimensional space (plan). Most often, these two types are combined so that all the information available is taken into account.

Geometric correction

— Translations, rotations, scalings, similarities (or combinations of them) after identification of a garbling linear model (inverse polynomial model of order 1).

Regarding the resampling function, it is possible to choose between closest neighbour interpolation and bilinear interpolation.

— Interactive rectifications by the method of support points (11 possible points).

Processing in the multispectral space

These processings are also called point-to-point processings because the operations are done on a given pixel without taking those around it into account. Each pixel is assigned a new value (between 0 and 255) which is a function of its value in the original channel(s) (which can be geometrically superimposed).

These values are previously characterized by a certain number of usual statistical parameters as to draw tendencies and guide the processing phases.

Calculation of statistical parameters

— Histogram (digital curve and table) of the frequencies of one image or of one image part defined by an edge or a mask.

— Variation in contents along a horizontal profile, vertical profile or line.

— Minimum, maximum, average, variance, standard deviation of one image or of one image part defined by an edge or a mask.

— Two-dimensional histogram of two images or of two zones defined by an edge.

— Correlation coefficient of two images.

Selection of a new correlation coefficient and therefore of two new representation axes (decorrelation of two channels).

— Covariance of two images or image parts defined by an edge or mask.

— Matrix of variances/covariances (or correlations) between several images (a maximum of 6).

— Associated eigenvalues or eigenvectors.

— Calculation of main components.

One-image internal operations

— Storage of any value in a given point of co-ordinates within a zone or under a plot made with the marker plan.

— Plotting of iso-contents.

— Zoom.

— Addition, subtraction, multiplication and division by a constant.

— Logical operations :

• erasing,

• complementation (bits inversion),

• rotation of bits (shift of lower and upper bits for instance),

• AND, logical OR, exclusive OR functions etc., allowing the definition of masks (display of low significant bits etc.).

— Selective contrast enhancement :

• application of preset functions allowing linear contrast stretching and cyclic repetition of colour scale.

• application of any function generated interactively by point or by segment,

• application of non-linear algebraic functions (logarithmic, exponential stretching, multistretching, Gaussian stretching, histogram equalization stretching).

— Thresholding classification (density slicing).

Operations between two images

— Arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication, ratio).

— Specialized ratios (brightness index, vegetation index).

— Linear combinations ($aA + bB + c$).

— Logical operations :

• AND, logical OR, exclusive OR etc., allowing the definition of the masks of one image by another image,

• transfer of a bit field of one image in another allowing the operator to make the coloured composites he chooses,

• interactive classification after analysis through a two-dimensional histogram.

Operations between several images

• Principal component analysis ($N \leq 6$).

• Classification by the level method ($N \leq 4$) also called « parallelepiped classification » or « hypercube ».

Processing in the geographical space

Unlike the processings which use strictly radiometric information, processings in the plane take into account the information attached to the localization of these values.

These treatments deal with the statistical and mathematical study of the neighbourhood of a point as well as with the space organization of texture elements considering that the operator works on a set of regionalized variables. They are of two types :

— Those which give pixel a new value depending on the radiometric values of its neighbourhood. The calculation gives a value with the same nature and degree (smoothings etc.) or with a different degree (differential operators). It can be done :

• Either by means of space filtering on 8 bits by a 3×3 matrix (convolution technique) : local average, median filter, erosion, expansion, SOBEL operator, directionnal derivatives, laplacian, high-pass and low-pass filters.

These techniques make it possible to reduce image noise or on the contrary to increase transitions and enhance edges with a more or less pronounced directionnal effect. They also allow to emphasize angles or abnormal points and to establish links between objects or to isolate them.

• Or by meshing the image in elementary sub-images of any size. This is called « local optimization of the dynamics » and within each sub-image and proportionally

to its standard deviation. It allows contrast stretching around the mean value 128. This procedure which takes into account the immediate neighbourhood of each point allows to have access to all the details of an image with a very varied dynamics.

— Those which associate each pixel with a space parameter which takes into account the arrangements of pixels or classes (presence, contacts, directions etc.) and provides information on the space relations between the main elements of the geographical space.

The calculation is done within a sliding window, the size of which varies and mainly depends on the scale at which the phenomenon is perceptible. This is investigated by I.R.C.T. today. The calculation algorithm of a parameter of geographical diversity has been developed in collaboration with the « Ecole Nationale des Sciences Géographiques ». This parameter aims at estimating the diversity induced in the geographical space by the pixels of a given class. It takes into account the area occupied by the class, its space distribution and the total length of its limits.

PROSPECTS

Autonomous operation

- Development of treatments in the geographical space. Development of new structure, form and texture operators.
- Introduction of exogenous data (cartographical data, survey results etc.) to improve interpretation and show areas likely to behave similarly before a given situation.
- Development of processing modules specific to the researchers' various objectives. At any time, each user can develop interactively a new procedure, either by using the basic software (« sequence » writing), or in Basic (BASIC-SPOT simplified version including also a file handling software package), or in assembler language (INTEL 8080).

Connection with a host-computer

The main objective is to process quarters of or whole scenes ($3\,000 \times 3\,000$ pixels in the case of SPOT) in one operation only and not through a large number of floppy disks.

An asynchronous serial link is to be carried out with the computer of the CNUSC (Centre National Universitaire Sud de Calcul) in Montpellier. This link requires the development of coding/decoding and compression/decompression software of data that are being developed. By allowing to transmit 256×256 images for local processing on the Pericolor and to have access to some processing software (HLIPS, PCIPS, SPIDER) and display software (GIMAGE), it should allow to process large files until similar programmes are developed on the C.I.R.A.D. central computer.

At the same time, programmes will be developed on the C.I.R.A.D. central computer (DATA GENERAL MV 1000 SX) allowing the reading of the different forms of magnetic tapes and the selection of image fractions as well as mono and multispectral digital treatments on entire scenes.

A serial link will be established with the Pericolor until a parallel link is achieved either with the Pericolor or with a high-resolution display screen ($1\,024 \times 1\,024 \times 24$ bits) allowing to display larger image fractions.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks are extended to Messrs DUPLAA (CNES), GIL (CNUSC), GOUPIL (NUMELEC), MICHAUX (CIRCE), MOISSET (ENSG), PARROT (ORSTOM-Bondy) and VALERY

(INRA-Versailles) for the improvements they allowed us to bring to the basic software.

Liste des publications de l'I.R.C.T. (prix hors TVA, 7 %)

LA BACTÉRIOSE DU COTONNIER [<i>Xanthomonas malvacearum</i> (E.F. Smith) Dowson] dans le monde et en République Centrafricaine, par R. LAGIÈRE (1959)	F 50,00
LE COTONNIER EN CULTURE IRRIGUÉE DANS L'OUEST ALGÉRIEN. — Son écologie agricole, par G. PARRY (1961): relié	F 40,00
broché	F 30,00
ÉTUDES DE NUTRITION MINÉRALE CHEZ LES VÉGÉTAUX. — Contribution à leur méthodologie, par L. RICHARD (1964)	F 25,00
DIPAROPSIS WATERSI Roth., Lepidoptera Noctuidae, RAVAGEUR DU COTONNIER EN AFRIQUE CENTRALE. — Monographie, écologie des populations, étude expérimentale de la diapause, par P.F. GALICHET (1965)	F 25,00
ÉTUDE DES RELATIONS GÉNÉTIQUES ET CARYOLOGIQUES ENTRE GÉNOMES VOISINS DU GENRE <i>GOSSYPIMUM</i> , par P. KAMMACHER (1965)	F 25,00
ANALYSE PHYSIQUE DE LA FIBRE DE COTON. — Essais - Appareils - Techniques, par J. RECH (1968)	F 25,00
CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DE L'HYBRIDATION INTERSPÉCIFIQUE DANS LE GENRE <i>GOSSYPIMUM</i> : transfert de matériel génétique de l'espèce sauvage diploïde <i>Gossypium anomalum</i> à l'espèce cultivée tétraploïde <i>G. hirsutum</i> , par C. POISSON (1970)	F 25,00
LE CONTRÔLE DE <i>DYSDERCUS VOLKERI</i> SCHMIDT défini par l'acquisition de connaissances de la biologie de l'insecte et de ses dégâts, par G. PIERRARD (1972)	F 25,00
PARASITES ET MALADIES EN CULTURE COTONNIÈRE, par R. DELATTRE (1973)	F 45,00
LA POURRITURE DES CAPSULES DU COTONNIER: Essai de mise en place d'une méthode de lutte, par J. CAUQUIL (1973)	F 25,00
L'AMÉLIORATION DU COTONNIER <i>GOSSYPIMUM HIRSUTUM</i> PAR HYBRIDATION INTERSPÉCIFIQUE: utilisation des espèces <i>G. barbadense</i> et <i>G. stocksii</i> , par J. SCHWENDIMAN (1978)	F 25,00
PRINCIPALES ADVENTICES DU COTONNIER EN AFRIQUE DE L'OUEST. Description et techniques de lutte, par M. DÉAT (1981)	F 45,00
Index 1946-1980 et suite	F 50,00
<i>Publications pouvant être distribuées par l'I.R.C.T.:</i>	
LE COTONNIER ET SES PRODUITS, par G. PARRY (1981)	F 300,00
TERMINOLOGIE COTONNIÈRE TRILINGUE, Conseil International de la langue française par G. PARRY (1986)	F 90,00
LE COTONNIER EN AFRIQUE TROPICALE, par G. SÉMENT (1986)	F 42,00
<i>Série « Documents, études et synthèses »:</i>	
MALADIES ET RAVAGEURS DU COTONNIER EN CENTRAFRIQUE. Expression des dégâts et moyens de lutte, par J. CAUQUIL et P. VINCENS (1982)	F 40,00
CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES SYSTÈMES DE PRODUCTION AU MALI: mise au point d'une méthodologie applicable au suivi de cas en motorisation intermédiaire par M. CRÉTENET (1982)	F 40,00
LE COTONNIER « GLANDLESS » EN CÔTE-D'IVOIRE, par B. HAU, E. KOTO et A. ANGELINI (1983)	F 40,00
LA FERTILITÉ DES SYSTÈMES CULTURAUX À BASE DE COTONNIER EN CÔTE-D'IVOIRE. Neuf années d'expérimentation et d'observations multilocales (1973-1982), par G. SÉMENT (1983)	F 40,00
LES HIBISCUS TEXTILES EN AFRIQUE TROPICALE. Première partie: Les conditions particulières de la production du kénaf et de la roselle, par J. BOULANGER, J.-C. FOLLIN et J. BOURÉLY (1984)	F 60,00
LA FERTILITÉ DES SOLS ET SON ÉVOLUTION EN ZONE COTONNIÈRE DU TCHAD par R. RICHARD et B. DIOULET (1985)	F 40,00